

УДК 539.376

СКІНЧЕННО-ЕЛЕМЕНТНИЙ ПІДХІД ДО ЗНАХОДЖЕННЯ АНІЗОТРОПНИХ В'ЯЗКОПРУЖНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ

В.Г. МАРТИНЕНКО^{1*}, Г.І. ЛЬВОВ²

¹аспірант кафедри Динаміки та міцності машин, НТУ «ХПІ», Харків, УКРАЇНА

²завідуючий кафедри Динаміки та міцності машин, професор, доктор. техн. наук,
НТУ «ХПІ», Харків, УКРАЇНА

*email: martynenko.volodymyr@gmail.com

Тонкостінні елементи конструкцій та машин, що виконані з композиційних матеріалів, широко застосовуються в багатьох провідних галузях промисловості, зокрема в авіабудуванні та при створенні космічних кораблів, при проектуванні лопаток робочих коліс вітряків та турбоагрегатів, в цивільній промисловості (автомобільна галузь та яхтовий спорт), при ремонті газотранспортних систем, тощо. Оскільки в перелічених випадках композиційні елементи можуть знаходитись під дією дуже високих значень та градієнтів механічних і теплових навантажень адекватне моделювання їх напружено-деформованого стану є важливою науковою та інженерною задачею. Для цього потрібно знати механічні властивості композиційного матеріалу. Такі характеристики зазвичай описують анізотропну пружну та в'язкопружну поведінку композиту [1]. У випадку знаходження анізотропних в'язкопружних характеристик, що є залежними від широкого діапазону часу та температур, число натурних експериментів може бути непомірно великим. Саме тому розробка методики проведення аналогічних чисельних експериментів для визначення в'язкопружних властивостей при відомих властивостях матриці та волокон є актуальною задачею, що дозволяє зекономити матеріальні зусилля.

В загальному випадку фізичні співвідношення, що відображають анізотропні в'язкопружні властивості мають наступний вигляд [1]:

$$\sigma_{ij}(t) = \sum_{kl} [a_{ijkl} \varepsilon_{kl}(t) - \int_0^t R_{ijkl}(t,s) \varepsilon_{kl}(s) ds], \quad (1)$$

де t – змінна часу, s – час, що сплинув, $\sigma_{ij}(t)$ – компоненти тензору напружень, $\varepsilon_{ij}(t)$ – компоненти тензору деформацій, $a_{ijkl}(t)$ – компоненти тензору миттєвої пружності, $R_{ijkl}(t,s)$ – компоненти тензору релаксації, $i, j, k, l = 1..3$.

Для випадків знаходження різних механічних властивостей композиційних матеріалів аналіз їх представницького об'єму знаходить своє широке застосування, прикладом чому служать роботи [2-3].

Представлена методика також засновується на розгляді представницького об'єму композиту. У програмному комплексі скінченно-елементного аналізу проводиться побудова розрахункової моделі, до якої застосовуються граничні умови, що моделюють експерименти на релаксацію для визначення тензору жорсткості матеріалу $[C]$, які з використанням нотації Фойгта та враховуючи

постійність компонент вектору деформацій описуються наступними спрощеними порівняно з (1) фізичними співвідношеннями:

$$\sigma_m(t) = \sum_n C_{mn}(t) \varepsilon_n, \quad m, n = 1..6. \quad (2)$$

Через тензор жорсткості композиту знаходиться тензор податливості як зворотній до першого: $[S] = [C]^{-1}$, а через компоненти тензору податливості можуть бути виражені залежні від часу технічні пружні постійні, а саме модулі пружності, модулі зсуву та коефіцієнти Пуассона.

Розрахункова модель для випадку ортогональної схеми армування композиту представлена на рис. 1, а. На рис. 1, б показані значення модулів пружності в поздовжньому та перпендикулярному до волокон композиційного матеріалу напрямках E_1 та E_3 відповідно для коефіцієнтів відносної концентрації волокна, що дорівнюють 0.393, 0.589 та 0.746.

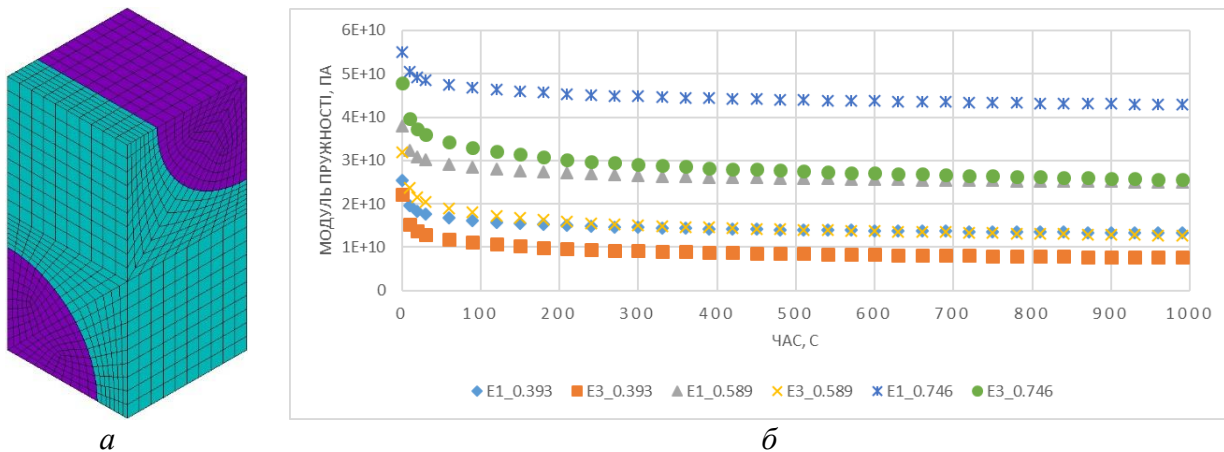


Рис. 1 – Проведення чисельних експериментів з визначення в'язкопружних властивостей композиту: а – розрахункова модель; б – графіки зміни у часі модулів пружності

Знайдені технічні пружні постійні можуть бути апроксимовані експоненціальними рядами Проні за допомогою методу найменших квадратів, що дозволяє використовувати отримані результати при розрахунках в'язкопружної механічної поведінки композиційних оболонок. Окрім того, представлена методика дозволяє звужити коло натурних експериментів на анізотропну в'язкопружність композиту до набагато меншого числа аналогічних експериментів на ізотропну в'язкопружність матриці та ізотропну або трансверсально ізотропну пружність волокон.

Список літератури:

1. Кравчук А. С. Механика полимерных и композиционных материалов: Экспериментальные и численные методы / А. С. Кравчук, В. П. Майборода, Ю. С. Уржумцев. – М.: Наука, 1985. – 304 с.
2. Odegard G. M. Comparison of two models of SWCN polymer composites / G. M. Odegard, R. B. Pipes, P. Hubert // Composites Science and Technology. – 2004. – Vol. 64, No. 7-8. – P. 1011-1020.
3. Nguyen D. D. Bending analysis of three-phase polymer composite plates reinforced by glass fibers and titanium oxide particles / D. D. Nguyen, K. Minh // Computational Materials. – 2010. – Vol. 49, No. 4. – P. 194-198.